

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

**Кафедра химии, технологии электрохимических производств  
и материалов электронной техники**

# **ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

**Программа, методические указания  
и контрольные задания для студентов специальности  
1-48 01 04 «Технология электрохимических производств»  
заочной формы обучения**

Минск 2014

УДК 001.891+001.895](075.4)  
ББК 73:35.35я73  
О-75

Рассмотрены и рекомендованы редакционно-издательским советом Белорусского государственного технологического университета

Составитель *В. Г. Матыс*

Рецензент  
кандидат физико-математических наук,  
доцент кафедры физики БГТУ  
*В. В. Поплавский*

По тематическому плану изданий учебно-методической литературы университета на 2013 год. Поз. 210.

Для студентов специальности 1-48 01 04 «Технология электрохимических производств» заочной формы обучения

© УО «Белорусский государственный  
технологический университет», 2014

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Пособие предназначено для самостоятельной работы студентов четвертого курса специальности 1-48 01 04 «Технология электрохимических производств» заочной формы обучения по дисциплине «Основы научных исследований и инновационной деятельности».

Эффективное функционирование современного электрохимического производства невозможно без его систематического технического перевооружения. Последнее, в свою очередь, базируется на достижениях науки и техники. При этом элементы научного исследования все в большей мере входят в инженерную деятельность, т. к. разработка новых технологических процессов, расчет и проектирование оборудования для их реализации и, наконец, внедрение достижений науки в производство требуют постоянного поиска новых идей, проведения исследований работы аппаратов и технологических линий, выбора оптимальных параметров и режимов проведения процессов. Поэтому инженеру-технологу в области электрохимических производств необходимо владеть методикой научного поиска, уметь ставить задачи исследования, знать методы и средства измерения параметров электрохимических систем, обладать навыками проведения эксперимента, обработки, анализа и обобщения результатов исследования, владеть теорией принятия инженерных решений. Не меньшее значение в современном мире имеет инновационная деятельность как в области научных исследований, так и в технологическом производстве. Для успешного функционирования электрохимического производства необходимы постоянный поиск, внедрение и адекватная оценка потенциала новых технологий, материалов, новых форм управления производством.

Представленные в пособии контрольные вопросы и задачи будут служить руководством студенту-заочнику для самостоятельного изучения дисциплины и для подготовки к зачету. Задания сгруппированы таким образом, что каждые 10 вопросов соответствуют одной теме. Для усвоения материала по всем темам студент может выполнить один из 10 вариантов контрольной работы, каждый из которых включает в себя 10 вопросов и 2 задачи по теме «Статистические методы анализа и обработки результатов эксперимента».

# **ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

## **Введение**

Цель и задачи дисциплины. Место и роль ее в подготовке инженера химика-технолога. Краткий обзор содержания дисциплины.

## **Раздел 1. Основы научных исследований**

### **Тема 1.1. Методологические основы научного познания и творчества**

Понятие о науке, фундаментальных и прикладных научных исследованиях, закономерности и тенденции развития науки. Основные задачи науки в области электрохимических производств. Элементы теории и методология научно-технического творчества. Процесс научного исследования. Общенаучные методы познания. Структура научного познания. Методы теоретических и эмпирических исследований.

Организация научно-исследовательской работы, научные учреждения. Выбор направления научного исследования и этапы научно-исследовательской работы. Актуальность работы, новизна и значимость результатов научных исследований. Классификация научно-исследовательских работ. Научно-исследовательская работа студентов. Подготовка специалистов высшей квалификации. Организация научно-исследовательской работы в Республике Беларусь. Основные направления фундаментальных и прикладных исследований в области электрохимии.

### **Тема 1.2. Информационный поиск**

Организация работы с научной литературой. Информатика как наука. Первичные и вторичные документы и издания. Реферативные издания. Электронные информационно-поисковые системы. Специализированные журналы по электрохимии. Научно-техническая патентная информация. Система патентной классификации. Патентные исследования при курсовом и дипломном проектировании.

### **Тема 1.3. Теоретические и экспериментальные исследования**

Цели и методы теоретического исследования. Общенаучные методы теоретических исследований. Методы творческого мышления.

Математические методы в исследованиях. Моделирование в научном и техническом творчестве. Виды моделей. Применение ЭВМ в научных исследованиях. Математическое моделирование в электрохимических исследованиях.

Классификация, типы и задачи экспериментов. Роль эксперимента в развитии науки и техники. Эффективность научных исследований. Пассивный и активный эксперименты и их задачи. Методологические основы экспериментальной работы. Метрологическое обеспечение эксперимента. Методы измерения температуры, давления; методы измерения напряжений, токов, магнитных параметров и характеристик материалов. Лабораторные, модельные, опытные (полупромышленные), опытно-промышленные установки.

#### **Тема 1.4. Элементы теории планирования эксперимента**

Общая схема проведения экспериментального исследования. Требования, предъявляемые к объекту исследования, отклику, факторам. Экспериментально-статистический метод планирования. Математическое описание и математическая модель объекта экспериментального исследования. Регрессионный и корреляционный анализ.

Ортогональное планирование эксперимента. Планы первого порядка. Планы полного факторного эксперимента (ПФЭ)  $2^n$ , геометрическая интерпретация плана, типы получаемых моделей. Основные свойства ПФЭ, выполняемые критерии оптимальности. Планы второго порядка. Ортогональный центрально-композиционный план второго порядка. Ротатабельные планы.

Дробный факторный эксперимент. Минимизация числа опытов, дробные реплики, генерирующие соотношения. Насыщенные планы первого порядка. Примеры.

#### **Тема 1.5. Анализ и обработка результатов экспериментальных исследований**

Статистические методы анализа и обработки результатов эксперимента. Основные понятия теории вероятностей и математической статистики. Важнейшие функции распределения случайной величины. Статистические критерии. Методы оценки случайных погрешностей. Доверительный интервал.

Использование численных методов математики для обработки результатов эксперимента: нахождение корней уравнений (методы дихотомии, секущих, Ньютона); интегрирование (методы трапеций,

Симпсона и др.); дифференцирование (метод Рунге – Кутта); метод наименьших квадратов, методы нелинейной аппроксимации. Методы сглаживания экспериментальных данных. Методы графического представления экспериментальных результатов. Применение ЭВМ для обработки результатов исследований.

### **Тема 1.6. Оформление результатов научно-исследовательской работы**

Формулирование выводов научно-исследовательской работы. Выявление новизны и практической значимости результатов работы. Отчет о результатах НИР, отчет о патентных исследованиях, статья, доклад. Структура отчета. Основные требования к оформлению рукописей научных статей. Содержание, стиль и форма устного представления научной информации.

## **Раздел 2. Основы инновационной деятельности**

### **Тема 2.1. Инновация как экономическая категория**

Возникновение и развитие понятия «инновация», место и роль инноваций в структуре процессов развития. Сущность и содержание понятий «инновации», «инновационный процесс», «инновационная деятельность». Функции инноваций. Классификация инноваций.

Основы теории инноватики. Становление теории инновации и ее основные концепции. Теория длинных волн Н. Д. Кондратьева. Теория экономического развития Й. Шумпетера. Технологические уклады.

### **Тема 2.2. Инновационный процесс и инновационная деятельность**

Содержание и структура инновационного процесса. Критерии инновации. Инициация как начальный этап инновационного процесса. Основные методы поиска идеи инновации. Продвижение и диффузия – конечный этап инновационного процесса. Этапы внедрения результатов научно-исследовательских работ в области электрохимических производств.

Основные направления, цели и методы инновационной деятельности. Организационные формы инновационной деятельности. Программы управленческого анализа, виды и содержание инновационных технологий, проектов и решений. Поиск, систематизация, анализ и разработка инновационных технологий, проектов и решений. Обоснование необходимости их внедрения.

### **Тема 2.3. Управление инновациями и инвестиции в инновационный процесс**

Управление инновациями и его место в системе менеджмента. Функции управления инновациями. Методы управления инновациями. Методы прогнозирования инноваций. Методы поиска идей инноваций. Уровни инновационного управления. Управление инновационными проектами.

Инновационная деятельность как объект инвестирования. Инвестиционная привлекательность проектов и программ в инновационной деятельности. Факторы инвестиционной привлекательности. Проблемы инвестирования, оценка эффективности инноваций. Инновационный рынок. Инновационный риск. Внебюджетная поддержка инновационной деятельности.

### **Тема 2.4. Государственная инновационная политика**

Содержание и направление инновационной политики государства. Методы реализации инновационной политики государства. Научно-инновационная политика Республики Беларусь. Приоритетные направления создания и развития новых и высоких технологий в Республике Беларусь.

# МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ

## Выборочные оценки математического ожидания, дисперсии и среднеквадратичного отклонения

Выборочной оценкой математического ожидания является среднее арифметическое элементов выборки

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (1)$$

где  $n$  – объем выборки;  $x_i$  –  $i$ -й элемент выборки.

Выборочная несмещенная оценка дисперсии  $S^2$  находится по формуле

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2. \quad (2)$$

Выборочная смещенная оценка дисперсии  $s^2$  определяется по формуле

$$s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2. \quad (3)$$

Выборочными оценками среднеквадратичного отклонения будут  $S$  (несмещенная оценка) и  $s$  (смещенная оценка).

## Построение доверительных интервалов для параметров нормального распределения (определение случайных ошибок измерений)

Доверительный интервал для математического ожидания  $a$  нормальной случайной величины будет симметричен относительно наиболее вероятного значения, в качестве которого берется среднее арифметическое выборки. Доверительный интервал будет иметь вид

$$(\bar{x} - \Delta, \bar{x} + \Delta) \text{ или } a = \bar{x} \pm \Delta, \quad (4)$$

где  $\bar{x}$  – среднее арифметическое выборки;  $\Delta$  – радиус интервала;  $a$  – математическое ожидание. Радиус доверительного интервала служит мерой случайной ошибки измерений.

Для построения доверительного интервала выбирают малое число  $\alpha$  – *уровень значимости* – и находят интервал, в который истинное значение параметра попадает с вероятностью  $1 - \alpha$ , называемой *дове-*



рительной вероятностью. Обычно используют стандартные уровни значимости, равные 0,1, 0,05 или 0,01, которым отвечают доверительные вероятности 0,90, 0,95 или 0,99, а соответствующий доверительный интервал называют 90-, 95- или 99-процентным.

Для расчета радиуса доверительного интервала при известной дисперсии используют формулу

$$\Delta = u_{1-\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (5)$$

где  $u_{1-\alpha/2}$  – квантиль уровня  $1-\alpha/2$  стандартного нормального распределения (табл. 1 приложения);  $\sigma^2$  – дисперсия;  $n$  – объем выборки.

При неизвестной дисперсии расчет радиуса доверительного интервала проводят по формуле

$$\Delta = t_{1-\alpha/2}(n-1) \frac{S}{\sqrt{n}}, \quad (6)$$

где  $t_{1-\alpha/2}(n-1)$  – квантиль уровня  $1-\alpha/2$  распределения Стьюдента с  $n-1$  степенью свободы (табл. 2 приложения);  $S$  – выборочная несмещенная оценка среднеквадратичного отклонения;.

**Пример 1.** В процессе цементационной очистки от Cu и Cd электролита, поступающего на электролиз для электроэкстракции Zn, исследовался химический состав медно-кадмиевого кека. Было проведено пять параллельных опытов, в которых определено содержание Cu и Cd в кеке в процентах по массе (табл. 1).

Таблица 1

Результаты определения содержания (в % по массе) Cu и Cd в кеке

№ опыта	$\omega(\text{Cu})$	$\omega(\text{Cd})$
1	29,0	9,65
2	40,9	7,30
3	25,0	6,00
4	24,1	20,22
5	24,4	17,90

Построить 90- и 95-процентные доверительные интервалы для математического ожидания содержания Cu и Cd в кеке.

**Решение.** 1) Находим средние значения для  $\omega(\text{Cu})$  и  $\omega(\text{Cd})$ :

$$\bar{\omega}(\text{Cu}) = \frac{29,0 + 40,9 + 25,0 + 24,1 + 24,4}{5} = 28,68;$$

$$\bar{\omega}(\text{Cd}) = \frac{9,65 + 7,30 + 6,00 + 20,22 + 17,9}{5} = 12,21.$$

2) Находим несмещенную оценку среднеквадратичного отклонения  $S$  для  $\omega(\text{Cu})$  и  $\omega(\text{Cd})$ , используя формулу (2):

$$S(\text{Cu}) = \sqrt{\frac{(29,0 - 28,68)^2 + (40,9 - 28,68)^2 + \dots + (24,4 - 28,68)^2}{5 - 1}} = 7,11;$$

$$S(\text{Cd}) = \sqrt{\frac{(9,65 - 12,21)^2 + (7,30 - 12,21)^2 + \dots + (17,9 - 12,21)^2}{5 - 1}} = 6,44.$$

3) Число степеней свободы  $(n - 1)$  равно 4. Доверительной вероятности в 90 и 95% соответствуют уровни значимости  $\alpha = 0,10$ ,  $\alpha = 0,05$  и значения уровней квантилей (6)  $1 - 0,10/2 = 0,950$  и  $1 - 0,05/2 = 0,975$  соответственно. Из табл. 2 приложения выбираем квантили распределения Стьюдента:

$$t_{0,95}(4) = 2,132 \quad \text{и} \quad t_{0,975}(4) = 2,776.$$

4) Рассчитываем радиусы доверительных интервалов для содержания Cu и Cd в кеке с доверительными вероятностями 90 и 95% по формуле (6):

$$\Delta_{90\%}(\text{Cu}) = 2,132 \cdot \frac{7,11}{\sqrt{5}} = 6,78; \quad \Delta_{95\%}(\text{Cu}) = 2,776 \cdot \frac{7,11}{\sqrt{5}} = 8,83;$$

$$\Delta_{90\%}(\text{Cd}) = 2,132 \cdot \frac{6,44}{\sqrt{5}} = 6,14; \quad \Delta_{95\%}(\text{Cd}) = 2,776 \cdot \frac{6,44}{\sqrt{5}} = 8,00.$$

*Ответ.* Таким образом, 90- и 95-процентные доверительные интервалы для математического ожидания содержания Cu и Cd в кеке будут иметь вид соответственно:

$$\omega(\text{Cu}) = (28,68 \pm 6,78)\%; \quad \omega(\text{Cd}) = (12,21 \pm 6,14)\%;$$

$$\omega(\text{Cu}) = (28,68 \pm 8,83)\%; \quad \omega(\text{Cd}) = (12,21 \pm 8,00)\%.$$

*Доверительный интервал для дисперсии* нормальной случайной величины имеет вид

$$\left( \frac{ns^2}{\chi^2_{1-\alpha/2}(n-1)}, \frac{ns^2}{\chi^2_{\alpha/2}(n-1)} \right), \quad (7)$$

где  $s^2$  – выборочная смещенная оценка дисперсии (3);  $\chi^2_{1-\alpha/2}(n-1)$  и  $\chi^2_{\alpha/2}(n-1)$  – квантили уровней  $1-\alpha/2$  и  $\alpha/2$  соответственно распределения  $\chi^2$  с  $n-1$  степенью свободы (табл. 3 приложения).

**Пример 2.** Построить 90- и 95-процентные доверительные интервалы для дисперсии содержания Cu и Cd в кеке. Исходные данные: см. пример 1.

**Решение.** 1) Рассчитаем выборочные оценки дисперсии с помощью формулы (3):

$$s^2(\text{Cu}) = \frac{(29,0 - 28,68)^2 + (40,9 - 28,68)^2 + \dots + (24,4 - 28,68)^2}{5} = 40,45;$$

$$s^2(\text{Cd}) = \frac{(9,65 - 12,21)^2 + (7,30 - 12,21)^2 + \dots + (17,9 - 12,21)^2}{5} = 33,15.$$

2) Из табл. 3 приложения выбираем квантили распределения  $\chi^2$  при числе степеней свободы 4 и необходимых вероятностях. Так, доверительной вероятности 90% соответствует уровень значимости  $\alpha = 0,1$ , а соответствующие квантили будут равны:

$$\chi^2_{\alpha/2}(n-1) = \chi^2_{0,1/2}(5-1) = \chi^2_{0,05}(4) = 0,711;$$

$$\chi^2_{1-\alpha/2}(n-1) = \chi^2_{1-0,1/2}(5-1) = \chi^2_{0,95}(4) = 9,49.$$

Аналогично выбираем квантили, соответствующие доверительной вероятности 95% (уровень значимости 0,05):

$$\chi^2_{\alpha/2}(n-1) = \chi^2_{0,05/2}(5-1) = \chi^2_{0,025}(4) = 0,484;$$

$$\chi^2_{1-\alpha/2}(n-1) = \chi^2_{1-0,05/2}(5-1) = \chi^2_{0,975}(4) = 11,1.$$

3) Определяем доверительные интервалы для дисперсии в соответствии с выражением (7).

**Ответ.** 90-процентные доверительные интервалы:

$$\sigma^2(\text{Cu}) \in \left( \frac{5 \cdot 40,45}{9,49}, \frac{5 \cdot 40,45}{0,711} \right) \quad \text{или} \quad (21,3; \quad 284,5);$$

$$\sigma^2(\text{Cd}) \in \left( \frac{5 \cdot 33,15}{9,49}, \frac{5 \cdot 33,15}{0,711} \right) \quad \text{или} \quad (17,5; \quad 233,1).$$

95-процентные доверительные интервалы:

$$\sigma^2(\text{Cu}) \in \left( \frac{5 \cdot 40,45}{11,1}, \frac{5 \cdot 40,45}{0,484} \right) \text{ или } (18,2; 417,9);$$

$$\sigma^2(\text{Cd}) \in \left( \frac{5 \cdot 33,15}{11,1}, \frac{5 \cdot 33,15}{0,484} \right) \text{ или } (14,9; 342,5).$$

### Исключение грубых ошибок (промахов)

*Исключение грубых ошибок (промахов)* из выборки позволит значительно снизить случайную ошибку. Если в выборке имеется подозрительное значение ( $x^*$ ), сильно выпадающее из ряда, то, используя специальный статистический критерий грубых ошибок, можно проверить, является ли это значение грубой ошибкой при выбранном уровне значимости. Критерий грубых ошибок вычисляют по формуле

$$\beta = \frac{|x^* - \bar{x}|}{s}, \quad (8)$$

где  $\bar{x}$  – среднее арифметическое выборки;  $s$  – выборочная смещенная оценка среднеквадратичного отклонения (3).

Максимально допустимое значение этого критерия ( $\beta_{\max}$ ), при котором еще можно считать подозрительное значение  $x^*$  следствием случайного статистического разброса, а не грубой ошибкой приводится в таблицах для разных уровней значимости (табл. 4 приложения).

**Пример 3.** В серии результатов определения содержания меди в кеке из примера 1 (табл. 1) имеется подозрительное значение (40,9), сильно отличающееся от остальных значений. Необходимо проверить при уровне значимости 0,05 (95-процентная доверительная вероятность), не является ли этот результат грубой ошибкой.

**Решение.** 1) Рассчитаем критерий грубых ошибок по формуле (8) приняв в качестве  $x^* = 40,9$ . Среднее арифметическое для содержания меди было рассчитано в примере 1:  $\bar{x} = 28,68$ . Выборочная смещенная оценка дисперсии рассчитана в примере 2:  $s^2 = 40,45$ . Откуда определяем  $s = \sqrt{40,45} = 6,36$ . Критерий грубых ошибок будет следующим:

$$\beta = \frac{|40,9 - 28,68|}{6,36} = 1,92.$$

2) Из табл. 4 приложения выпишем максимально допустимое значение критерия грубых ошибок при уровне значимости 0,05 и объеме выборки 5:  $\beta_{\max} = 1,87$ .

3) Поскольку  $\beta > \beta_{\max}$ , то значение 40,9 следует считать грубой ошибкой и исключить из выборки.

*Ответ:* подозрительное значение является грубой ошибкой при уровне значимости 0,05.

### Оценка случайных ошибок косвенных измерений

Пусть некоторая величина  $U$  является функцией непосредственно измеряемых величин  $x$ ,  $y$  и  $z$ :

$$U = f(x, y, z).$$

Среднее значение величины  $U$  можно определить приближенно:

$$\bar{U} \approx f(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}). \quad (9)$$

Случайную ошибку, или радиус доверительного интервала, для величины  $U$  можно приближенно выразить через дифференциал функции  $f$ :

$$\Delta U \approx \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})\right)^2 \Delta x^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})\right)^2 \Delta y^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})\right)^2 \Delta z^2}, \quad (10)$$

где  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$  – случайные ошибки (радиусы доверительных интервалов при одном и том же уровне значимости) для непосредственно измеряемых величин  $x$ ,  $y$ ,  $z$ ;  $\frac{\partial f}{\partial x}$ ,  $\frac{\partial f}{\partial y}$ ,  $\frac{\partial f}{\partial z}$  – частные производные функции  $f$  по переменным  $x$ ,  $y$ ,  $z$ .

**Пример 4.** Рассчитайте случайную ошибку определения удельного расхода электроэнергии для процесса электролитического получения цинка, используя следующую формулу:

$$W = \frac{1000U}{m_{\text{Zn}}} I \tau,$$

и результаты косвенных измерений четырех величин:

массы катодного осадка цинка  $m_{\text{Zn}} = (0,0972 \pm 0,0011)$  г;

напряжения на электролизере  $U = (2,91 \pm 0,03)$  В;

времени  $\tau = (1 \pm 0,01)$  ч;

тока электролиза  $I = (0,1 \pm 0,001)$  А.

Дано:

$$\bar{m}_{\text{Zn}} = 0,0972 \text{ г}$$

$$\bar{U} = 2,91 \text{ В}$$

$$\bar{\tau} = 1 \text{ ч}$$

$$\bar{I} = 0,1 \text{ А}$$

$$\Delta m_{\text{Zn}} = 0,0011 \text{ г}$$

$$\Delta U = 0,03 \text{ В}$$

$$\Delta \tau = 0,01 \text{ ч}$$

$$\Delta I = 0,001 \text{ А}$$

$$\bar{W}, \Delta W - ?$$

Решение.

1) Рассчитаем среднее значение удельного расхода электроэнергии по соотношению (9), используя средние значения массы цинка, напряжения, времени и силы тока:

$$\bar{W} = \frac{1000\bar{U}}{\bar{m}_{\text{Zn}}} \bar{I} \tau = \frac{1000 \cdot 2,91}{0,0972} 0,1 \cdot 1 = 2994 \text{ кВт} \cdot \text{ч/т.}$$

2) Рассчитаем случайную ошибку определения удельного расхода электроэнергии с использованием соотношения (10). В данном примере удельный расход электроэнергии является функцией четырех переменных: массы цинка, напряжения, времени и силы тока:

$$W = f(U, m_{\text{Zn}}, I, \tau) = \frac{1000U}{m_{\text{Zn}}} I \tau.$$

Случайную ошибку определим по формуле

$$\Delta W \approx \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial U}\right)^2 \Delta U^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial m_{\text{Zn}}}\right)^2 \Delta m_{\text{Zn}}^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial I}\right)^2 \Delta I^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial \tau}\right)^2 \Delta \tau^2}.$$

Выразим и рассчитаем частные производные функции  $f$ :

$$\frac{\partial f}{\partial U} = \frac{1000}{m_{\text{Zn}}} I \tau = \frac{1000}{0,0972} \cdot 0,1 \cdot 1 = 1028,8;$$

$$\frac{\partial f}{\partial m_{\text{Zn}}} = -\frac{1000}{m_{\text{Zn}}^2} I \tau = -\frac{1000}{0,0972^2} \cdot 0,1 \cdot 1 = -10584;$$

$$\frac{\partial f}{\partial I} = \frac{1000U}{m_{\text{Zn}}} \tau = \frac{1000 \cdot 2,91}{0,0972} \cdot 1 = 29938;$$

$$\frac{\partial f}{\partial \tau} = \frac{1000U}{m_{\text{Zn}}} I = \frac{1000 \cdot 2,91}{0,0972} \cdot 0,1 = 2993,8.$$

Случайная ошибка:

$$\begin{aligned} \Delta W &\approx \sqrt{(1028,8 \cdot 0,03)^2 + (-10584 \cdot 0,0011)^2 + (29938 \cdot 0,001)^2 + (2993,8 \cdot 0,01)^2} = \\ &= \sqrt{(30,864)^2 + (-11,6424)^2 + (29,938)^2 + (29,938)^2} \approx 54 \text{ кВт} \cdot \text{ч/т.} \end{aligned}$$

Ответ:  $\bar{W} = 2994 \text{ кВт} \cdot \text{ч/т.}$ ;  $\Delta W \approx 54 \text{ кВт} \cdot \text{ч/т.}$

## Определение минимального числа повторных опытов

*Определение минимального числа повторных опытов* для достижения требуемой точности измерения некоторой величины проводится с использованием соотношения (5). Согласно этому соотношению, при увеличении числа повторных опытов случайная ошибка уменьшается. Помимо случайной ошибки измерений ( $\Delta$ ), существуют также систематические (приборные) ошибки ( $\theta$ ), которые нельзя снизить проведением повторных опытов, поэтому минимальное число повторных опытов определяется из условия  $\Delta = \theta$ , откуда

$$n_{\min} = \frac{u_{1-\alpha/2}^2 \sigma^2}{\theta^2}. \quad (11)$$

При этом необходимо знать дисперсию измерений  $\sigma^2$  и выбрать уровень значимости  $\alpha$ . В качестве дисперсии измерений можно взять ее выборочную оценку (2) при достаточно большом объеме выборки (20–50 повторных опытов).

**Пример 5.** Рассчитайте минимально необходимое число опытов определения потенциала коррозии, чтобы снизить случайную ошибку до 10 мВ при уровнях значимости 0,10 и 0,05, если предварительно найденное значение среднеквадратичного отклонения  $\sigma$  для определения потенциала коррозии составляет 14 мВ.

<i>Дано:</i>	<i>Решение.</i>
$\sigma = 14$ мВ	1) Из табл. 1 приложения выбираем значения $u_{1-\alpha/2}$ :
$\theta = 10$ мВ	$u_{1-0,1/2} = u_{0,95} = 1,645$ и $u_{1-0,05/2} = u_{0,975} = 1,960$ .
а) $\alpha = 0,1$	2) По формуле (11) рассчитываем $n_{\min}$ :
б) $\alpha = 0,05$	а) $\alpha = 0,1$ $n_{\min} = \frac{1,645^2 \cdot 14^2}{10^2} \approx 5$ ;
$n_{\min} - ?$	б) $\alpha = 0,05$ $n_{\min} = \frac{1,960^2 \cdot 14^2}{10^2} \approx 8$ .

Ответ: а) 5; б) 8.

## Определение однородности дисперсий

*Проверка однородности двух дисперсий* может использоваться для оценки воспроизводимости измерений либо для сравнения точности измерений какой-то величины разными методами или приборами.

Пусть имеются выборки результатов измерения некоторой величины разными методами, приборами или в различные периоды времени.

Для проверки однородности дисперсий используют критерий Фишера, который представляет собой отношение большей выборочной дисперсии к меньшей:

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2}, \quad (12)$$

где  $S_1^2$  и  $S_2^2$  – выборочные несмещенные оценки дисперсии, рассчитываемые по формуле (2), для первой и второй выборок соответственно, причем  $S_1^2 > S_2^2$ . Дисперсии считаются однородными, если

$$F < F_{\text{кр}}(\alpha, f_1, f_2), \quad (13)$$

где  $F_{\text{кр}}(\alpha, f_1, f_2)$  – критическое значение критерия Фишера из соответствующих таблиц при выбранном уровне значимости  $\alpha$  и числах степеней свободы  $f_1$  для первой выборки и  $f_2$  для второй выборки. Число степеней свободы

$$f = n - 1, \quad (14)$$

где  $n$  – объем выборки. Для уровня значимости 0,05 критические значения критерия Фишера приведены в табл. 5 приложения.

**Пример 6.** Рассчитайте и оцените по критерию Фишера при уровне значимости 0,05 однородность дисперсий определения толщины покрытия гравиметрическим и радиометрическим методами на основании следующих выборочных результатов

№ опыта	1	2	3	4	5	6	7	8
$d_1$ , мкм	11,9	12,5	12,4	9,5	14,2	12,9	10,5	13,1
$d_2$ , мкм	12,6	12,0	10,5	11,6	11,2	11,9	11,4	12,0

**Решение.** 1) Рассчитаем средние арифметические значения и дисперсии в обеих выборках по формулам (1) и (2):

$$\bar{d}_1 = \frac{11,9 + 12,5 + 12,4 + 9,5 + 14,2 + 12,9 + 10,5 + 13,1}{8} \approx 12,13;$$

$$\bar{d}_2 = \frac{12,6 + 12,0 + 10,5 + 11,6 + 11,2 + 11,9 + 11,4 + 12,0}{8} = 11,65;$$



$$S_1^2 = \frac{(11,9 - 12,13)^2 + (12,5 - 12,13)^2 + (12,4 - 12,13)^2 + (9,5 - 12,13)^2 + (14,2 - 12,13)^2 + (12,9 - 12,13)^2 + (10,5 - 12,13)^2 + (13,1 - 12,13)^2}{8} = 2,24;$$

$$S_2^2 = \frac{(12,6 - 11,65)^2 + (12,0 - 11,65)^2 + (10,5 - 11,65)^2 + (11,6 - 11,65)^2 + (11,2 - 11,65)^2 + (11,9 - 11,65)^2 + (11,4 - 11,65)^2 + (12,0 - 11,65)^2}{8} = 0,40.$$

2) Рассчитаем критерий Фишера по формуле (12):

$$F = \frac{2,24}{0,40} = 5,6.$$

3) Критическое значение критерия Фишера выбираем из табл. 5 приложения при уровне значимости 0,05 и числах степеней свободы  $f_1 = 8 - 1 = 7$  и  $f_2 = 8 - 1 = 7$ :

$$F_{\text{кр}}(0,05; 7; 7) = 3,79.$$

4) Поскольку  $F > F_{\text{кр}}(0,05; 7; 7)$ , то дисперсии не являются однородными, первая дисперсия значимо больше второй и, следовательно, гравиметрический метод определения толщины покрытия менее точен, чем радиометрический.

*Ответ:* дисперсии не однородны, радиометрический метод определения толщины покрытия следует считать более точным, чем гравиметрический.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

1. Понятие о науке. В чем заключается многозначность этого понятия? Классификация наук на основе специфических особенностей изучаемых объектов материального мира. Проблема классификации наук.
2. Классификация естественных, технических, гуманитарных и социальных наук. Наука и псевдонаука. Принципиальные признаки науки как системы знаний.
3. Понятие научного знания и его отличительные признаки от других видов знания. Познание. Связь познания и практики. Относительность познания.
4. Абсолютное и относительное научное знание. Уровни познания.
5. Элементы чувственного познания: ощущение, восприятие, представление и воображение.
6. Абстрактное мышление как форма рационального познания. Типы мышления. Структурные элементы мышления.
7. Классификация понятий. Объем и содержание понятия. Определение понятия и его признаки.
8. Суждения и умозаключения, их классификация.
9. Общие этапы научного исследования. Научная идея. Гипотеза. Закон, его доказательство и парадоксы. Теория и ее структура.
10. Законы формальной логики.
11. Творчество как высшая форма мышления. Понятие научно-технического творчества. Логика и интуиция в научно-техническом творчестве.
12. Мотивационная структура творчества. Воображение как наиболее важный для творчества вид мышления. Виды воображения. Факторы, отрицательно влияющие на творческое мышление.
13. Системный подход к исследованию технических объектов. Противоречия в технических системах как движущая сила постановки и решения технических задач.
14. Морфологический анализ технического объекта.
15. Ассоциативные и психологические методы активизации творческого мышления.
16. Классификация научно-исследовательских работ. Понятие о прикладных и фундаментальных исследованиях.
17. Понятие научного направления. Выбор направления исследований. Структурные единицы научного направления.
18. Понятие цели научного исследования. Формулировка цели исследования. Понятие объекта и предмета исследования.

19. Выбор и обоснование темы исследования. Понятие актуальности, новизны и значимости исследований.

20. Принципы формирования государственной научно-технической политики. Формы реализации приоритетных направлений научно-исследовательской деятельности в Республике Беларусь.

21. Органы государственного управления в сфере научной деятельности. Государственный комитет по науке и технологиям. НАН Беларуси. Научные учреждения и их классификация.

22. Организационные формы проведения исследований в вузах. Формы участия студентов в научно-исследовательской деятельности.

23. Понятие об информации, информационной системе, ресурсе, сети.

24. Научный документ. Классификация документов. Первичные и вторичные документы. Нормативно-техническая и патентная документация.

25. Библиографические классификации документов. УДК.

26. Патентная информация. Международная патентная классификация.

27. Порядок ознакомления с литературными источниками по новой теме. Составление собственной библиографии по теме. Библиографическая информация о документе.

28. Способы обработки информации при чтении. Дифференциальный алгоритм для обучения более быстрого восприятия текста при чтении. Интегральный алгоритм восприятия читаемого документа.

29. Техника быстрого чтения и способы ее развития. Запоминание прочитанного текста.

30. Конспектирование и реферирование материала. Научный обзор.

31. Понятие эксперимента. Цели эксперимента. Классификация экспериментов.

32. Методика и план эксперимента. Число измерений и обработка результатов эксперимента.

33. Понятие измерения и метрологии. Эталоны и меры. Метрологическая служба. Государственная и ведомственная поверки средств измерений.

34. Классификация методов измерений. Средства измерений и измерительные приборы. Погрешности и характеристики приборов.

35. Организация эксперимента: лаборатория, рабочее место, лабораторный журнал. Погрешности результатов эксперимента и их источники.

36. Понятие случайной величины. Функция распределения и плотность распределения случайной величины.

37. Математическое ожидание, дисперсия и среднеквадратичное отклонение случайной величины и их свойства.
38. Нормальное распределение и его роль в обработке ошибок.
39. Понятие генеральной совокупности и выборки.
40. Выборочные оценки математического ожидания, дисперсии и среднеквадратичного отклонения.
41. Упорядочение элементов выборки. Частотный анализ выборки: статистический ряд, частота, накопленная частота. Гистограммы выборочной функции и плотности распределения.
42. Построение доверительного интервала для параметров нормального распределения. Случайная ошибка.
43. Определение минимального числа измерений.
44. Оценка случайных ошибок косвенных измерений.
45. Важнейшие статистические распределения:  $\chi^2$ -распределение, распределение Стьюдента, распределение Фишера.
46. Выявление грубых ошибок: правило  $3\sigma$ , критерий грубых ошибок.
47. Оценка однородности дисперсий: критерии Фишера, Кохрена и Бартлета.
48. Возникновение теории планирования эксперимента. Планирование экстремального эксперимента. Понятия оптимизации, задачи оптимизации.
49. Понятие объекта исследования, фактора, уровня фактора, параметра оптимизации, функции отклика.
50. Требования к объекту исследования. Виды эксперимента по управляемости.
51. Виды параметров оптимизации. Требования к параметру оптимизации.
52. Обобщенный параметр оптимизации: общие принципы построения. Простейшие способы построения обобщенного параметра оптимизации: 2-балльная шкала, «близость к идеалу».
53. Обобщенная функция желательности как универсальный параметр оптимизации. Принципы построения частных функций желательности.
54. Факторы, область определения фактора, классификация факторов. Требования к факторам.
55. Геометрический аналог функции отклика. Поверхность отклика. Факторное пространство. Свойства функции отклика.
56. Методы поиска оптимума. Шаговый принцип. Этапы поиска оптимума с помощью линейных моделей.

57. Оценка области определения факторов. Выбор основного уровня факторов.
58. Требования к интервалу варьирования факторов. Выбор интервалов варьирования факторов. Кодирование факторов.
59. Полный факторный эксперимент 2<sup>n</sup>.
60. Матрица планирования и ее свойства.
61. Сущность и содержание понятий «инновация», «инновационный процесс», «инновационная деятельность».
62. Предмет и место системы управления инновациями.
63. Понятие о теории инновационных процессов или инноватике.
64. Классификация инновационных процессов и продуктов.
65. Связь научно-технологического развития и экономического роста.
66. Теория длинных волн Н. Д. Кондратьева.
67. Теория экономического развития Шумпетера.
68. Понятие технологического уклада.
69. Фазы развития технологического уклада.
70. Краткое содержание технологических укладов.
71. Основные этапы инновационных процессов.
72. Поисковые НИР как начальный этап инновационного процесса.
73. Прикладные, поисковые НИР, НИОКР как промежуточный этап инновационного процесса.
74. Что входит в заключительный этап инновационного процесса?
75. Жизненный цикл инноваций.
76. Инновационный проект и его уровни научно-технической значимости.
77. Инновационные структуры в крупных компаниях.
78. Формы малого инновационного предпринимательства.
79. «Фирмы-инкубаторы», малые инновационные предприятия как формы инновационной деятельности.
80. Научно-технологические парки, «бизнес-инкубатора» и основные направления их деятельности.
81. Общая характеристика методов и приемов управления инновациями.
82. Методы прогнозирования инноваций.
83. Методы поиска идей инноваций.
84. Инжиниринг и реинжиниринг инноваций.
85. Сопротивление инновациям и его источники.
86. Источники инвестиций в инновационный процесс.
87. Характеристика бюджетных ассигнований в инвестиционный процесс.

88. Формы иностранных инвестиций в инновационный процесс.
89. Собственные средства организаций как источник финансирования инновационной деятельности.
90. Факторы инвестиционной привлекательности инновационных проектов и программ.
91. Сущность государственной научно-технической и инновационной политики.
92. Основные принципы государственного системного подхода к инновационным процессам.
93. Цели и задачи инновационной политики государства.
94. Основные условия, необходимые для развития инновационной деятельности.
95. Государственная программа инновационного развития Республики Беларусь.
96. Методы реализации инновационной политики государства.
97. Приоритетные направления научно-технической и инновационной деятельности в Республике Беларусь.
98. Предпосылки инновационной политики Республики Беларусь.
99. Органы государственного управления в сфере научной и инновационной деятельности.
100. Субъекты инновационной инфраструктуры в Республике Беларусь.
101. При изучении процесса электроэкстракции цинка была проведена серия опытов, в которых определялась масса катодного осадка цинка  $m_{Zn}$ . Результаты опытов:

№ опыта	1	2	3	4	5	6	7	8
$m_{Zn}$ , г	0,0955	0,0976	0,0976	0,0981	0,0987	0,0958	0,0957	0,0985

Рассчитайте выборочную оценку математического ожидания, дисперсии и среднеквадратичного отклонения для измеренных значений массы цинка. Постройте доверительный интервал для математического ожидания и определите случайную ошибку при уровне значимости 0,05.

102. Результаты параллельных опытов измерения напряжения на электролизере при электрохимическом осаждении цинка представлены в следующей таблице.

№ опыта	1	2	3	4	5	6	7	8
$U$ , В	2,87	2,92	2,85	2,87	2,94	2,96	2,94	2,92

Используя эти данные, вычислите выборочные оценки математического ожидания, дисперсии и среднеквадратичного отклонения для измеренных значений напряжения на электролизере. Постройте доверительный интервал для математического ожидания и определите случайную ошибку при уровне значимости 0,1.

103. В процессе электрохимического осаждения меди для определения выхода по току измерялась масса катодного осадка меди. Была проведена серия опытов осаждения меди в одних и тех же условиях и получены следующие значения массы:

№ опыта	1	2	3	4	5	6	7	8
$m_{\text{Cu}}, \text{Г}$	0,1122	0,1171	0,1137	0,1140	0,1143	0,1126	0,1126	0,1125

Рассчитайте выборочные оценки математического ожидания, дисперсии и среднеквадратичного отклонения для массы меди. Постройте доверительный интервал для математического ожидания и определите случайную ошибку при уровне значимости 0,05.

104. Для определения удельного расхода электроэнергии процесса электрорафинирования меди проведена серия опытов, в которых измерялось напряжение на электролизере. Результаты опытов:

№ опыта	1	2	3	4	5	6	7	8
$U, \text{В}$	0,332	0,335	0,343	0,334	0,339	0,346	0,336	0,340

Рассчитайте выборочные оценки математического ожидания, дисперсии и среднеквадратичного отклонения для измеренных значений напряжения. Постройте доверительный интервал для математического ожидания и определите случайную ошибку при уровне значимости 0,1.

105. При изучении процесса электрорафинирования никеля проведена серия параллельных опытов, в которых были измерены следующие значения напряжения на электролизере:

№ опыта	1	2	3	4	5	6	7	8
$U, \text{В}$	2,44	2,46	2,52	2,46	2,49	2,50	2,54	2,47

Рассчитайте выборочные оценки математического ожидания, дисперсии и среднеквадратичного отклонения для измеренных значений

напряжения на электролизере. Постройте доверительный интервал для математического ожидания и определите случайную ошибку при уровне значимости 0,05.

106. Рассчитайте и оцените однородность дисперсий для двух серий измерений напряжения на электролизере по критерию Фишера при уровне значимости 0,05.

№ опыта	1	2	3	4	5	6	7	8
$U_1$ , В	0,371	0,374	0,383	0,374	0,379	0,380	0,386	0,376
$U_2$ , В	0,332	0,335	0,343	0,334	0,339	0,346	0,336	0,340

107. Проверьте воспроизводимость измерения напряжения на электролизере по критерию Фишера при уровне значимости 0,1 по двум сериям опытов, каждая из которых проведена при одних и тех же условиях.

№ опыта	1	2	3	4	5	6	7	8
$U_1$ , В	2,05	2,07	2,12	2,06	2,09	2,10	2,14	2,08
$U_2$ , В	0,332	0,335	0,343	0,334	0,339	0,346	0,336	0,340

108. При изучении процесса катодного осаждения металла измерялась масса осажденного металла. Проведены две параллельные серии измерения, результаты которых представлены в таблице.

№ опыта	1	2	3	4	5	6	7	8
$m_1$ , г	0,1900	0,1983	0,1926	0,1930	0,1936	0,1908	0,1906	0,1905
$m_2$ , г	0,1122	0,1171	0,1137	0,1140	0,1143	0,1126	0,1126	0,1125

Оцените воспроизводимость измерений, проверив однородность дисперсий по критерию Фишера при уровне значимости 0,1.

109. Рассчитайте и сравните однородность дисперсий для двух серий измерений массы катодных осадков металлов по критерию Фишера при уровне значимости 0,05.

№ опыта	1	2	3	4	5	6	7	8
$m_1$ , мг	90,2	94,2	91,5	91,7	91,9	90,6	90,5	90,4
$m_2$ , мг	103,6	108,1	105,0	105,3	105,5	104,0	103,9	103,8



110. При измерении шероховатости электроосажденного покрытия были проведены две серии измерений с использованием различных приборов. Получены следующие результаты:

№ опыта	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$R_1$ , мкм	0,48	0,57	0,37	0,54	0,48	0,50	0,54	0,42	0,47
$R_2$ , мкм	0,51	0,47	0,54	0,34	0,61	0,32	0,58	0,45	0,64

Рассчитайте и определите однородность дисперсий для двух серий измерений по критерию Фишера при уровне значимости 0,05. Имеется ли значимое отличие в точности приборов?

111. Оцените среднее значение и случайную ошибку определения выхода по току исходя из результатов косвенных измерений массы цинка, силы тока и времени электролиза. Выход по току рассчитывается по формуле

$$В_{\text{т}} = \frac{m_{\text{Zn}}}{qI\tau}.$$

При расчетах учтите, что электролиз проводился при силе тока  $I = (100 \pm 1)$  мА в течение времени  $\tau = (1 \pm 0,01)$  ч, масса полученного цинка  $m_{\text{Zn}} = (96 \pm 2)$  мг. Электрохимический эквивалент цинка  $q$  составляет 1,22 г/(А·ч).

112. Оцените среднее значение и случайную ошибку определения удельного расхода электроэнергии для процесса электрохимического выделения цинка по результатам косвенных измерений напряжения на электролизере и выхода по току. Удельный расход электроэнергии рассчитывается по формуле

$$W = \frac{1000U}{q \cdot В_{\text{т}}}.$$

Примите значение напряжения равным  $U = (2,92 \pm 0,2)$  В, выход по току  $В_{\text{т}} = (91 \pm 2)$  %. Электрохимический эквивалент цинка  $q$  примите равным 1,22 г/(А·ч).

113. Оцените среднее значение и случайную ошибку определения выхода по току щелочи согласно результатам косвенных измерений объемов растворов при титровании. Выход по току рассчитывали по формуле

$$В_{\text{т}} = \frac{0,4V_{\text{т}}V_{\text{э}}}{I\tau},$$

где  $V_T = (4,7 \pm 0,3)$  мл – объем титранта;  $V_3 = (0,1 \pm 0,001)$  л – объем раствора в электролизере;  $I = (0,2 \pm 0,001)$  А – сила тока;  $\tau = 1 \pm 0,01$  ч – время электролиза.

114. Рассчитайте минимальное количество повторных опытов, необходимых для снижения случайной ошибки измерения напряжения до 10 мВ при уровне значимости 0,05, если среднеквадратичное отклонение напряжения в серии измерений составляет 30 мВ.

115. Рассчитайте минимальное число повторных измерений шероховатости поверхности, необходимое для снижения случайной ошибки до 0,1 мкм при уровне значимости 0,1. Предварительно найденное значение среднеквадратичного отклонения  $\sigma$  составило 0,25 мкм.

116. При определении плотности тока обмена реакции выделения водорода на серебряном электроде получены следующие результаты:

№ опыта	1	2	3	4	5	6	7	8
$\lg i_0$	-5,79	-5,39	-5,76	-5,77	-5,72	-5,68	-6,60	-5,29

Проверьте с помощью критерия грубых ошибок при уровне значимости 0,05, не является ли подозрительным значение в седьмом опыте грубой ошибкой. При необходимости исключите грубую ошибку и рассчитайте случайную ошибку определения  $\lg i_0$  при уровне значимости 0,05.

117. Выполнено шесть повторных измерений шероховатости поверхности:

№ опыта	1	2	3	4	5	6
$R$ , мкм	0,44	0,49	0,49	0,54	0,72	0,36

Проверьте с помощью критерия грубых ошибок при уровне значимости 0,1 подозрительное значение в пятом опыте. При необходимости исключите грубую ошибку и рассчитайте случайную ошибку определения  $R$  при уровне значимости 0,1.

118. Повторные измерения толщины гальванического покрытия показали следующие результаты:

№ опыта	1	2	3	4	5	6	7
$d$ , мкм	13,2	13,5	12,3	14,6	11,0	12,7	11,8

Проверьте с помощью критерия грубых ошибок при уровне значимости 0,05 результат четвертого опыта. При необходимости исклю-

чите грубую ошибку и рассчитайте случайную ошибку определения  $d$  при уровне значимости 0,05.

119. Оцените среднее значение и случайную ошибку толщины гальванически осажденного никеля по результатам косвенных измерений силы тока, времени, площади поверхности покрытия и выхода по току, используя следующую формулу:

$$d = \frac{I\tau g}{S\rho} V_t,$$

где  $I = (0,40 \pm 0,01)$  А – сила тока;  $\tau = (900 \pm 5)$  с – время осаждения покрытия;  $V_t = 0,90 \pm 0,01$  – выход по току;  $g$  – электрохимический эквивалент никеля принять постоянным и равным  $3,04 \cdot 10^{-4}$  г/(А·с);  $S = 10 \pm 0,14$  см<sup>2</sup> – площадь поверхности;  $\rho = 8,90$  г/см<sup>3</sup>.

120. Рассчитайте минимально необходимое число повторных измерений рН для снижения случайной ошибки измерений до 0,05 при уровне значимости 0,1, если предварительно найденное значение среднеквадратичного отклонения  $\sigma$  составило 0,1.

## ТАБЛИЦА ВАРИАНТОВ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Номер варианта	Номера заданий, относящихся к данному варианту
1	1, 11, 21, 31, 41, 51, 61, 71, 81, 91, 101, 111
2	2, 12, 22, 32, 42, 52, 62, 72, 82, 92, 102, 112
3	3, 13, 23, 33, 43, 53, 63, 73, 83, 93, 103, 113
4	4, 14, 24, 34, 44, 54, 64, 74, 84, 94, 104, 114
5	5, 15, 25, 35, 45, 55, 65, 75, 85, 95, 105, 115
6	6, 16, 26, 36, 46, 56, 66, 76, 86, 96, 106, 116
7	7, 17, 27, 37, 47, 57, 67, 77, 87, 97, 107, 117
8	8, 18, 28, 38, 48, 58, 68, 78, 88, 98, 108, 118
9	9, 19, 29, 39, 49, 59, 69, 79, 89, 99, 109, 119
10	10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120

## ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1

**Квантили  $u_q$  стандартного нормального распределения  
при некоторых уровнях  $q$**

$q$	0,95	0,975	0,995
$u_q$	1,645	1,960	2,576

Таблица 2

**Квантили  $t_q(n-1)$  распределения Стьюдента  
с  $n-1$  степенью свободы при некоторых уровнях  $q$**

$n-1$	$q$		
	0,95	0,975	0,995
1	6,314	12,706	63,657
2	2,920	4,303	9,925
3	2,353	3,182	5,841
4	2,132	2,776	4,604
5	2,015	2,571	4,032
6	1,943	2,447	3,707
7	1,895	2,365	3,499
8	1,860	2,306	3,355
9	1,833	2,262	3,250
10	1,812	2,228	3,169
$\infty$	1,645	1,960	2,576

Таблица 3

**Квантили  $\chi_q^2(n-1)$  распределения  $\chi^2$  с  $n-1$  степенью свободы  
при некоторых уровнях  $q$**

$n-1$	$q$					
	0,05	0,95	0,025	0,975	0,005	0,995
1	$3,93 \times 10^{-3}$	3,84	$9,82 \times 10^{-4}$	5,02	$3,93 \times 10^{-5}$	7,88
2	0,103	5,99	0,0506	7,38	0,0100	10,6
3	0,352	7,81	0,216	9,35	0,0717	12,8
4	0,711	9,49	0,484	11,1	0,207	14,9
5	1,15	11,1	0,831	12,8	0,412	16,7
6	1,64	12,6	1,24	14,4	0,676	18,5
7	2,17	14,1	1,69	16,0	0,989	20,3
8	2,73	15,5	2,18	17,5	1,34	22,0
9	3,33	16,9	2,70	19,0	1,73	23,6
10	3,94	18,3	3,25	20,5	2,16	25,2

Таблица 4

**Максимальные значения критерия грубых ошибок  $\beta_{\max}$   
при разных уровнях значимости  $\alpha$  и в зависимости от объема выборки  $n$**

$n$	$\alpha$			$n$	$\alpha$		
	0,1	0,05	0,01		0,1	0,05	0,01
3	1,41	1,41	1,41	15	2,33	2,49	2,80
4	1,64	1,69	1,72	16	2,35	2,52	2,84
5	1,79	1,87	1,96	17	2,38	2,55	2,87
6	1,89	2,00	2,13	18	2,40	2,58	2,90
7	1,97	2,09	2,26	19	2,43	2,60	2,93
8	2,04	2,17	2,37	20	2,45	2,62	2,96
9	2,10	2,24	2,46	25	2,54	2,72	3,07
10	2,15	2,29	2,54	30	2,61	2,79	3,16
11	2,19	2,34	2,61	35	2,67	2,85	3,22
12	2,23	2,39	2,66	40	2,72	2,90	3,28
13	2,26	2,43	2,71	45	2,76	2,95	3,33
14	2,30	2,46	2,76	50	2,80	2,99	3,37

Таблица 5

**Критические значения критерия Фишера при уровне значимости  
0,05 и различных числах степеней свободы  $f_1$  и  $f_2$**

	$f_1$									
$f_2$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	161,45	199,50	215,71	224,58	230,16	233,99	236,77	238,88	240,54	241,88
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,35	19,37	19,39	19,40
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85	8,81	8,79
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00	5,96
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,77	4,74
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10	4,06
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,64
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,35
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,14
10	4,97	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02	2,98

# ЛИТЕРАТУРА

## Основная

1. Основы научных исследований: учеб. для технических вузов / В. И. Крутов [и др.]; ред. В. И. Крутова, В. В. Попова. – М.: Высшая школа, 1989. – 399 с.
2. Ставров, В. П. Основы научной и инновационной деятельности / В. П. Ставров. – Минск: БГТУ, 2010. – 319 с.
3. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 278 с.
4. Жарский, И. М. Планирование и организация эксперимента: учеб. пособие для студентов химико-технологических специальностей вузов / И. М. Жарский, Б. А. Коледин, И. Ф. Кузьмицкий. – Минск: БГТУ, 2003. – 179 с.
5. Потапов, В. М. Химическая информация: где и как искать химику нужные сведения / В. М. Потапов, Э. К. Кочетова. – М.: Химия, 1988. – 223 с.
6. Кудашов, В. И. Управление интеллектуальной собственностью: учеб. пособие для студентов вузов / В. И. Кудашов. – 2-е изд. – Минск: ИВЦ Минфина, 2008. – 359 с.
7. Практикум по электрохимии: учеб. пособие для хим. специальностей вузов / Б. Б. Дамаскин [и др.]; под ред. Б. Б. Дамаскина. – М.: Высшая школа, 1991. – 288 с.
8. Ильенкова, С. Д. Инновационный менеджмент: учеб. для вузов / С. Д. Ильенкова, Л. М. Гохберг, С. Ю. Ягудин; ред. С. Д. Ильенкова. – М.: Банки и биржи, ЮНИТИ, 1997. – 328 с.
9. Мясникович, М. В. Государственное регулирование инновационной деятельности: учеб. пособие / М. В. Мясникович, Н. Б. Антонова, Л. Н. Нехорошева. – Минск: Академия управления при Президенте Республики Беларусь, 2005. – 235 с.

## Дополнительная

10. Рузавин, Г. И. Концепции современного естествознания: учеб. для вузов / Г. И. Рузавин. – М.: ЮНИТИ, 2005. – 288 с.
11. Рузавин, Г. И. Методы научного исследования / Г. И. Рузавин. – М.: Мысль, 1974. – 237 с.

12. Канке, В. А. Концепции современного естествознания: учеб. для вузов / В. А. Канке. – М.: Логос, 2002. – 368 с.
13. Гоберман, В. А. Технология научных исследований – методы, модели, оценки: учеб. пособие / В. А. Гоберман, Л. А. Гоберман. – М.: МГУЛ, 2004. – 390 с.
14. Налимов, В. В. Логические основания планирования эксперимента / В. В. Налимов, Т. И. Голикова. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1981. – 151 с.
15. Грачев, Ю. П. Математические методы планирования экспериментов / Ю. П. Грачев, Ю. М. Плаксин. – М.: ДеЛи принт, 2005. – 296 с.
16. Монтгомери, Д. К. Планирование эксперимента и анализ данных: пер. с англ. В. А. Коняева / Д. К. Монтгомери. – Л.: Судостроение, 1980. – 383 с.
17. Кафаров, В. В. Математическое моделирование основных процессов химических производств: учеб. пособие для вузов / В. В. Кафаров, М. Б. Глебов. – М.: Высшая школа, 1991. – 399 с.
18. Бояринов, А. И. Методы оптимизации в химической технологии: учеб. пособие для студентов химико-технологических специальностей вузов / А. И. Бояринов, В. В. Кафаров. – М.: Химия, 1975. – 574 с.
19. Румшинский, Л. З. Математическая обработка результатов эксперимента / Л. З. Румшинский. – М.: Наука, 1971. – 192 с.
20. Марченко, В. М. Методы оптимизации и статистической обработки результатов измерений: учеб. пособие для студентов вузов по физико-химическим и инженерно-техническим специальностям / В. М. Марченко. – Минск: БГТУ, 2007. – 140 с.
21. Пустыльник, Е. И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений / Е. И. Пустыльник. – М.: Наука, 1968. – 288 с.
22. Капица, П. Л. Эксперимент. Теория. Практика: ст. и выступления / П. Л. Капица. – Изд. 4-е. – М.: Наука, 1987. – 494 с.
23. Гамидов, Г. С. Основы инноватики и инновационной деятельности / Г. С. Гамидов, В. Г. Колосов, Н. О. Османов; ред. Г. С. Гамидов. – СПб.: ПОЛИТЕХНИКА, 2000. – 234 с.
24. Балабанов, И. Т. Инновационный менеджмент: учеб. пособие для вузов / И. Т. Балабанов. – СПб.: Питер, 2001. – 303 с.
25. Никитенко, П. Г. Инновационная деятельность и устойчивое развитие: теория и методология / П. Г. Никитенко, А. В. Марков; Институт экономики НАН, Белорусский институт правоведения. – Минск: БИП-С, 2003. – 93 с.



## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	3
Программа дисциплины .....	4
Методические указания к решению задач.....	8
Контрольные задания.....	18
Таблица вариантов контрольной работы.....	27
Приложение .....	29
Литература .....	31

# ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Программа, методические указания  
и контрольные задания

Составитель  
**Матыс Владимир Генрихович**

Редактор *Р. М. Рябая*  
Компьютерная верстка *Я. Ч. Болбот*  
Корректор *Р. М. Рябая*

Издатель:  
УО «Белорусский государственный технологический университет».  
ЛИ № 02330/0549423 от 08.04.2009.  
Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.